

# OPTICAL WAVEGUIDE DEVICE AND OPTICAL TRANSMISSION AND RECEPTION DEVICE, AND MANUFACTURE THEREOF

Patent number: JP2000227524  
 Publication date: 2000-08-15  
 Inventor: OGAWA TAKESHI  
 Applicant: SONY CORP  
 Classification:  
 - international: G02B6/42; G02B6/36; G02B6/42; G02B6/36; (IPC1-7): G02B6/122; G02B6/13; H01L31/12  
 - european: G02B6/42C6  
 Application number: JP19990029258 19990205  
 Priority number(s): JP19990029258 19990205

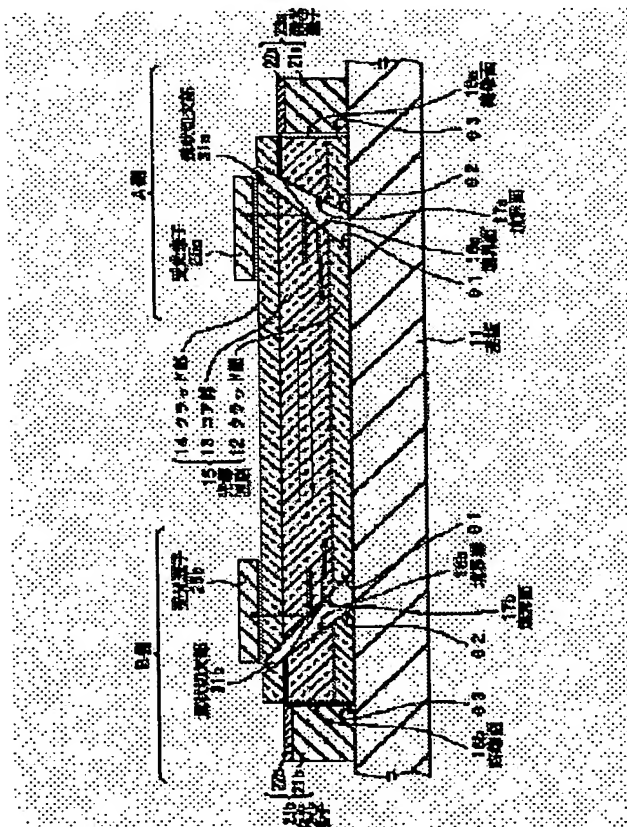
Also published as:

US6477296 (E)

Report a data error h

## Abstract of JP2000227524

**PROBLEM TO BE SOLVED:** To provide the optical waveguide device and optical transmission and reception device which enables two-way communication by propagating light signals bidirectionally by using an optical waveguide formed on a substrate and their manufacture. **SOLUTION:** In an optical waveguide 15 at least nearby its one end side (side A), a grooved cut part 31a having border surfaces 16a and 17a is provided crossing a light propagation direction. Received signal which is propagated in the optical waveguide 15 from the other end side (side B) is reflected internally by the border surface 16a and exits from the flank of the optical waveguide 15. Transmitted light which is made incident on the end surface 18a on the side A of the optical waveguide 15 is transmitted through the border surface 17a and made incident on the border surface 16a. Even the optical waveguide formed on the substrate is able to send and receive light signals in two directions and the density of optical wiring can be made high.



(19)日本国特許庁 ( J P )

(12) 公 開 特 許 公 報 ( A )

(11)特許出願公開番号  
特開2000-227524  
( P2000-227524A )

(43)公開日 平成12年 8 月15日 (2000. 8. 15)

(51)IntCl. <sup>7</sup>	識別記号	F I	テ-マ-ト (参考)
G 0 2 B 6/122		G 0 2 B 6/12	B 2 H 0 4 7
6/13		H 0 1 L 31/12	B 5 F 0 8 9
H 0 1 L 31/12		G 0 2 B 6/12	M

審査請求 未請求 請求項の数33 O L (全 11 頁)

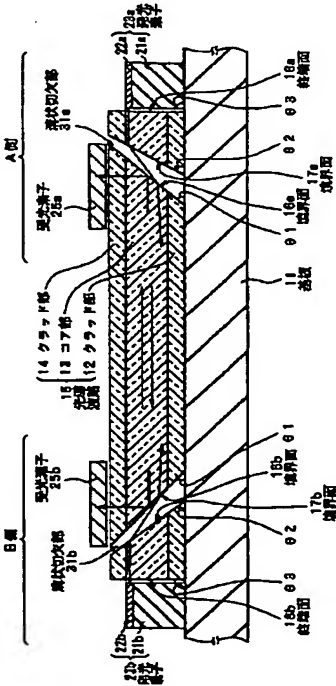
(21)出願番号	特願平11-29258	(71)出願人	000002185 ソニー株式会社 東京都品川区北品川 6 丁目 7 番35号
(22)出願日	平成11年 2 月 5 日 (1999. 2. 5)	(72)発明者	小川 剛 東京都品川区北品川 6 丁目 7 番35号 ソニ ー株式会社内
		(74)代理人	100098785 弁理士 藤島 洋一郎
		Fターム(参考)	2H047 KAD4 KA15 MA07 PA02 PA21 PA24 PA28 QA05 RA00 TA00 TA44 5F089 AA01 AC10 AC16 CA03

(54)【発明の名称】 光導波装置および光送受信装置、ならびにそれらの製造方法

(57)【要約】

【課題】 基板上に形成された光導波路を用いて光信号を双方向に伝搬させることにより双方向通信を可能にした光導波装置および光送受信装置、ならびにそれらの製造方法を提供する。

【解決手段】 光導波路15の少なくとも一終端側（A側）の近傍における光導波路中に、光伝搬方向と交差するようにして、境界面16a、17aを有する溝状切欠部31aを設ける。他端側（B側）から光導波路15中を伝搬してきた受信光は、境界面16aで内面反射し、光導波路15の側面から外部に出射する。光導波路15のA側の終端面18aから入射した送信光は、境界面17aを透過して境界面16aに入射する。基板上に形成された光導波路においても、比較的単純な構成により双方向の光信号の送受信が可能となり、光配線の高密度化が達成できる。



## 【特許請求の範囲】

【請求項1】 基板上に形成されると共に、光を双方向に伝搬可能な光導波路と、

前記光導波路の少なくとも一終端の近傍における光導波路内に光伝搬方向と交差するように設けられ、前記光導波路内を伝搬する光を転搬することが可能な溝状切欠部とを備えたことを特徴とする光導波装置。

【請求項2】 前記光導波路は、光が伝搬するコア部と、

このコア部を囲むように形成されたクラッド部とを含んで構成されていることを特徴とする請求項1記載の光導波装置。

【請求項3】 前記溝状切欠部は、少なくとも前記コア部を横断するように形成されていることを特徴とする請求項2記載の光導波装置。

【請求項4】 前記溝状切欠部は、

前記光導波路内を伝搬してきた受信光を内面で反射させて、光導波路内から外部に導くことが可能な第1の境界面と、

前記受信光の伝搬方向と相反する方向に向かう送信光を通過させて、光導波路内に導くことが可能な第2の境界面とを有することを特徴とする請求項1記載の光導波装置。

【請求項5】 前記光導波路の要部を構成する材料の屈折率が $n$ である場合において、

前記第1の境界面の前記光伝搬方向に対してなす角度 $\theta_1$ （度）、および、前記第2の境界面の前記光伝搬方向に対してなす角度 $\theta_2$ （度）が、それぞれ、以下の式を満たすことを特徴とする請求項4記載の光導波装置。

$$\theta_1 < 90 - \sin^{-1}(1/n)$$

$$\theta_2 > 90 - \sin^{-1}(1/n)$$

【請求項6】 前記光導波路の少なくとも一終端が、前記光伝搬方向とほぼ直交すると共に、外部から入射した送信光をほぼそのままの方向に通過させることが可能な端面をなし、

前記端面を通過して入射してきた送信光が、前記第2の境界面、溝状切欠部の内部および第1の境界面を順に通過して、前記光導波路内に導かれるようにしたことを特徴とする請求項4記載の光導波装置。

【請求項7】 前記光導波路の少なくとも一終端が、前記光伝搬方向に対してこれと交差するような所定の角度をなすと共に、光導波路の上面または側面から入射した送信光を内面で反射させることが可能な端面をなし、前記端面で反射した送信光が、前記第2の境界面、前記溝状切欠部および第1の境界面を順に通過して、前記光導波路内に導かれるようにしたことを特徴とする請求項4記載の光導波装置。

【請求項8】 光導波路の要部を構成する材料の屈折率が $n$ である場合において、

前記端面の前記光伝搬方向に対してなす角度 $\theta_3$ （度）が、以下の式を満たすことを特徴とする請求項7記載の光導波装置。

$$\theta_3 < \sin^{-1}(1/n)$$

【請求項9】 前記光導波路は、高分子材料を用いて構成されたものであることを特徴とする請求項1記載の光導波装置。

【請求項10】 前記基板は、シリコン、石英、ガラスおよびセラミックスの少なくとも1つを含む無機材料、または有機材料を用いて構成されたものであることを特徴とする請求項1記載の光導波装置。

【請求項11】 基板上に形成されると共に、光を双方向に伝搬可能な光導波路と、

前記光導波路の少なくとも一終端の近傍における光導波路内に光伝搬方向と交差するように設けられ、前記光導波路内を伝搬する光を転搬することが可能な溝状切欠部と、

前記溝状切欠部により転搬された受信光を受光する受光素子と、

前記溝状切欠部に向けて送信光を発する発光素子とを備えたことを特徴とする光送受信装置。

【請求項12】 前記光導波路は、

光が伝搬するコア部と、

このコア部を囲むように形成されたクラッド部とを含んで構成されていることを特徴とする請求項11記載の光送受信装置。

【請求項13】 前記溝状切欠部は、少なくとも前記コア部を横断するように形成されていることを特徴とする請求項12記載の光送受信装置。

【請求項14】 前記溝状切欠部は、

前記光導波路内を伝搬してきた受信光を内面で反射させて、光導波路内から外部に導くことが可能な第1の境界面と、

前記受信光の伝搬方向と相反する方向に向かう送信光を通過させて、前記光導波路内に導くことが可能な第2の境界面とを有することを特徴とする請求項11記載の光送受信装置。

【請求項15】 光導波路の要部を構成する材料の屈折率が $n$ である場合において、

前記第1の境界面の前記光伝搬方向に対してなす角度 $\theta_1$ （度）、および、前記第2の境界面の前記光伝搬方向に対してなす角度 $\theta_2$ （度）が、それぞれ、以下の式を満たすことを特徴とする請求項14記載の光送受信装置。

$$\theta_1 < 90 - \sin^{-1}(1/n)$$

$$\theta_2 > 90 - \sin^{-1}(1/n)$$

【請求項16】 前記受光素子は、前記第1の境界面の近傍における光導波路の上面または側面に配置され、第1の境界面で反射された受信光を受光可能であることを特徴とする請求項14記載の光送受信装置。

【請求項 17】 前記光導波路の少なくとも一終端が、  
前記光伝搬方向とほぼ直交すると共に、外部から入射した送信光をほぼそのままの方向に通過させることが可能な端面をなし、  
前記端面を通過して入射してきた送信光が、前記第2の境界面、溝状切欠部の内部および第1の境界面を順に通過して、前記光導波路内に導かれるようにしたことを特徴とする請求項 14 記載の光送受信装置。

【請求項 18】 前記発光素子は、前記端面に対向して配置され、端面に向けて送信光を発することを特徴とする請求項 17 記載の光送受信装置。

【請求項 19】 前記発光素子は、端面より光が出射する発光層を有するものであることを特徴とする請求項 18 記載の光送受信装置。

【請求項 20】 前記光導波路の少なくとも一終端が、  
前記光伝搬方向に対してこれと交差するような所定の角度をなすと共に、光導波路の上面または側面から入射した送信光を内面で反射させることが可能な端面をなし、  
前記端面で反射した送信光が、前記第2の境界面、前記溝状切欠部および第1の境界面を順に通過して、前記光導波路内に導かれるようにしたことを特徴とする請求項 14 記載の光送受信装置。

【請求項 21】 前記発光素子は、前記光導波路の上面または側面に配置されていることを特徴とする請求項 20 記載の光送受信装置。

【請求項 22】 前記発光素子は、表面より光が出射する発光層を有するものであることを特徴とする請求項 20 記載の光送受信装置。

【請求項 23】 光導波路の要部を構成する材料の屈折率が  $n$  である場合において、  
前記端面の前記光伝搬方向に対してなす角度  $\theta 3$  (度) が、以下の式を満たすことを特徴とする請求項 20 記載の光送受信装置。

$$\theta 3 < \sin^{-1}(1/n)$$

【請求項 24】 基板上に、光を双方向に伝搬可能な光導波路を形成する工程と、  
前記光導波路の少なくとも一終端の近傍における光導波路内に、この光導波路内を伝搬してきた受信光を内面で反射させて光導波路の上面または側面から外部に出射させることが可能な第1の境界面および前記受信光の伝搬方向と相反する方向に向かう送信光を通過させて前記第1の境界面を介して光導波路内に導くことが可能な第2の境界面を有する溝状切欠部を、光伝搬方向と交差するように形成する工程と、  
を含むことを特徴とする光導波装置の製造方法。

【請求項 25】 光導波路の要部を構成する材料の屈折率が  $n$  である場合において、  
前記第1の境界面の前記光伝搬方向に対してなす角度  $\theta$

1 (度)、および、前記第2の境界面の前記光伝搬方向に対してなす角度  $\theta 2$  (度) が、それぞれ、以下の式を満たすようにしたことを特徴とする請求項 24 記載の光導波装置の製造方法。

$$\theta 1 < 90 - \sin^{-1}(1/n)$$

$$\theta 2 > 90 - \sin^{-1}(1/n)$$

【請求項 26】 前記光導波路の少なくとも一終端が、

前記光伝搬方向とほぼ直交すると共に、外部から入射した送信光を通過させて前記第2の境界面の方向に導くことが可能な端面をなすようにしたことを特徴とする請求項 24 記載の光導波装置の製造方法。

【請求項 27】 前記光導波路の少なくとも一終端が、  
前記光伝搬方向に対してこれと交差するような所定の角度をなすと共に、光導波路の上面または側面から入射した送信光を内面で反射させて前記第2の境界面の方向に導くことが可能な端面をなすようにしたことを特徴とする請求項 24 記載の光導波装置の製造方法。

【請求項 28】 光導波路の要部を構成する材料の屈折率が  $n$  である場合において、  
前記端面の前記光伝搬方向に対してなす角度  $\theta 3$  (度) が、以下の式を満たすようにしたことを特徴とする請求項 27 記載の光導波装置の製造方法。

$$\theta 3 < \sin^{-1}(1/n)$$

【請求項 29】 基板上に、光を双方向に伝搬可能な光導波路を形成する工程と、

前記光導波路の少なくとも一終端の近傍における光導波路内に、この光導波路内を伝搬してきた受信光を内面で反射させて光導波路の上面または側面から外部に導くことが可能な第1の境界面および前記受信光の伝搬方向と相反する方向に向かう送信光を通過させて前記第1の境界面を介して光導波路内に導くことが可能な第2の境界面を有する溝状切欠部を、光伝搬方向と交差するように形成する工程と、

前記第1の境界面の近傍における光導波路の側面に、第1の境界面で反射された受信光を受光するための受光素子を形成する工程と、

前記端面の近傍に、この端面に向けて送信光を発するための発光素子を形成する工程と、

を含むことを特徴とする光送受信装置の製造方法。

【請求項 30】 光導波路の要部を構成する材料の屈折率が  $n$  である場合において、  
前記第1の境界面の前記光伝搬方向に対してなす角度  $\theta 1$  (度)、および、前記第2の境界面の前記光伝搬方向に対してなす角度  $\theta 2$  (度) が、それぞれ、以下の式を満たすようにしたことを特徴とする請求項 29 記載の光送受信装置の製造方法。

$$\theta 1 < 90 - \sin^{-1}(1/n)$$

$$\theta 2 > 90 - \sin^{-1}(1/n)$$

【請求項31】 前記光導波路の少なくとも一終端が、  
前記光伝搬方向とほぼ直交すると共に、外部から入射した送信光をほぼそのままの方向に通過させることが可能な端面をなすようにしたことを特徴とする請求項29記載の光送受信装置の製造方法。

【請求項32】 前記光導波路の少なくとも一終端が、  
前記光伝搬方向に対してこれと交差するような所定の角度をなすと共に、光導波路の上面または側面から入射した送信光を内面で反射させることが可能な端面をなすようにしたことを特徴とする請求項29記載の光送受信装置の製造方法。

【請求項33】 光導波路の要部を構成する材料の屈折率が $n$ である場合において、  
前記端面の前記光伝搬方向に対してなす角度 $\theta_3$ （度）が、以下の式を満たすようにしたことを特徴とする請求項32記載の光送受信装置の製造方法。

$$\theta_3 < \sin^{-1}(1/n)$$

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】本発明は、光を伝搬可能な光導波路を含んで構成される光導波装置および光送受信装置、ならびにそれらの製造方法に関する。

【0002】

【従来の技術】集積回路（IC）や大規模集積回路（LSI）等の分野においては、その技術進歩により、動作速度や集積規模が向上し、マイクロプロセッサの高性能化やメモリチップの大容量化が急速に進んでいる。しかしながら、これらの電子デバイスにおいては、性能向上を図る上で、電気信号の伝送速度の高速化や信号配線の高密度化がネックとなり、また電気配線における遅延の問題も生じる。さらに、電気信号の伝送速度の高速化や信号配線の高密度化を達成するためには、EMI/EMC (Electro-Magnetic Interface / Electro-Magnetic Compatibility) の対策が不可欠である。これらの配線のネックを解消するものとして、光インターコネクション（光配線）が注目されている。

【0003】この光インターコネクションは、機器装置間、機器装置内ボード間、あるいはボード内チップ間など、様々な状況において適用可能と考えられているが、例えばチップ間などのように比較的短距離の伝送においては、基板上に形成した光導波路を伝送路として利用する光伝送通信システムが適していると考えられる。そして、このような光導波路を使用した光伝送通信システムにおいては、光導波路の製作プロセスの確立が重要な課題である。

【0004】

【発明が解決しようとする課題】このような光導波路に要求される条件としては、光損失が小さく、かつ、でき

るだけ製造が容易であることが挙げられる。これらの条件を満たすものとして、例えば石英系の材料を用いた低損失な光導波路がある。光ファイバで実証済みのように、石英は光透過性が極めて良好であるため、これで導波路を製作した場合には0.1 dB/cm以下の低損失化が可能である。しかし、石英を用いた場合には、光導波路製作に長時間を要することや、製作時に高温（800℃以上）となること、大面積化が困難であること、および、コストが高い等の問題点がある。これらの諸問題を解決し、低温プロセスにより光導波路製作を可能にする材料として、ポリメチルメタクリレート（PMMA）やポリイミドなどの高分子材料を用いることが考えられる。

【0005】ここで、光導波路を使用した光伝送の高密度化を考えた場合、光信号が光導波路内を双方向に伝搬するように構成することが望ましい。しかしながら、双方向に光信号を伝搬させようとするシステムにおいては、発光素子から光導波路への入射および光導波路から受光素子への出射の形態や、発光素子および受光素子の光導波路に対する配置の問題、あるいは双方向に伝搬させる信号間のクロストークの問題など、解決すべき様々な問題がある。

【0006】本発明はかかる問題点に鑑みてなされたもので、その目的は、基板上に形成された光配線としての光導波路を用いて光信号を双方向に伝搬させることにより双方向通信を可能にした光導波装置および光送受信装置、ならびにそれらの製造方法を提供することにある。

【0007】

【課題を解決するための手段】本発明の光導波装置は、基板上に形成されると共に光を双方向に伝搬可能な光導波路と、光導波路の少なくとも一終端の近傍における光導波路内に光伝搬方向と交差するように設けられ、光導波路内を伝搬する光を転搬することが可能な溝状切欠部とを備えている。ここで、光導波路は、高分子材料を用いて構成可能であり、また、基板は、シリコン、石英、ガラスおよびセラミックスの少なくとも1つを含む無機材料、または有機材料を用いて構成可能である。

【0008】本発明の光送受信装置は、基板上に形成されると共に、光を双方向に伝搬可能な光導波路と、光導波路の少なくとも一終端の近傍における光導波路内に光伝搬方向と交差するように設けられ、光導波路内を伝搬する光を転搬することが可能な溝状切欠部と、溝状切欠部により転搬された受信光を受光する受光素子と、溝状切欠部に向けて送信光を発する発光素子とを備えている。

【0009】本発明の光導波装置または光送受信装置では、光導波路が、光が伝搬するコア部と、このコア部を囲むように形成されたクラッド部とを含むように構成することが可能である。この場合、溝状切欠部は、少なくともコア部を横断するように形成されていることが望ま

しい。

【0010】また、本発明の光導波装置または光送受信装置では、溝状切欠部が、光導波路内を伝搬してきた受信光を内面で反射させて光導波路内から外部に導くことが可能な第1の境界面と、受信光の伝搬方向と相反する方向に向かう送信光を通過させて光導波路内に導くことが可能な第2の境界面とを有するように構成することが可能である。ここで、光導波路の要部を構成する材料の屈折率を $n$ とすると、第1の境界面の光伝搬方向に対してなす角度 $\theta 1$ （度）が、 $\theta 1 < 90 - \sin^{-1}(1/n)$ を満たし、第2の境界面の光伝搬方向に対してなす角度 $\theta 2$ （度）が、 $\theta 2 > 90 - \sin^{-1}(1/n)$ を満たすようにすることが好適である。

【0011】また、本発明の光導波装置または光送受信装置では、光導波路の少なくとも一終端が、光伝搬方向とほぼ直交すると共に外部から入射した送信光をほぼそのままの方向に通過させることが可能な端面をなすようにすると共に、端面を通過して入射してきた送信光が、第2の境界面、溝状切欠部および第1の境界面を順に通過して、光導波路内に導かれるように構成可能である。

【0012】また、本発明の光導波装置または光送受信装置では、光導波路の少なくとも一終端が、光伝搬方向に対してこれと交差するような所定の角度をなすと共に光導波路の上面または側面から入射した送信光を内面で反射させることが可能な端面をなすようにすると共に、端面で反射した送信光が、第2の境界面、溝状切欠部の内部および第1の境界面を順に通過して、光導波路内に導かれるようにしてもよい。この場合には、光導波路の要部を構成する材料の屈折率を $n$ とすると、端面の光伝搬方向に対してなす角度 $\theta 3$ （度）が、 $\theta 3 < \sin^{-1}(1/n)$ を満たすようにすることが好適である。

【0013】本発明に係る光導波装置の製造方法は、基板上に、光を双方向に伝搬可能な光導波路を形成する工程と、光導波路の少なくとも一終端の近傍における光導波路内に、この光導波路内を伝搬してきた受信光を内面で反射させて光導波路の側面から外部に出射させることが可能な第1の境界面および受信光の伝搬方向と相反する方向に向かう送信光を通過させて第1の境界面を介して光導波路内に導くことが可能な第2の境界面を有する溝状切欠部を、光伝搬方向と交差するように形成する工程とを含んでいる。

【0014】本発明に係る光送受信装置の製造方法は、基板上に、光を双方向に伝搬可能な光導波路を形成する工程と、光導波路の少なくとも一終端の近傍における光導波路内に、この光導波路内を伝搬してきた受信光を内面で反射させて光導波路の側面から外部に導くことが可能な第1の境界面および受信光の伝搬方向と相反する方向に向かう送信光を通過させて第1の境界面を介して光導波路内に導くことが可能な第2の境界面を有する溝状切欠部を、光伝搬方向と交差するように形成する工程と、

第1の境界面の近傍における光導波路の側面に、第1の境界面で反射された受信光を受光するための受光素子を形成する工程と、端面の近傍に、この端面に向けて送信光を発するための発光素子を形成する工程とを含んでいる。

【0015】本発明の光導波装置では、基板上に形成された光導波路の少なくとも一終端の近傍における光導波路内に光伝搬方向と交差するように設けられた溝状切欠部によって、光導波路内を伝搬する光が転搬される。ここで、「光が転搬される」とは、光導波路内を伝搬する光が、その伝搬方向に応じて異なる経路へと導かれることを意味する。

【0016】本発明の光送受信装置では、基板上に形成された光導波路の少なくとも一終端の近傍における光導波路内に光伝搬方向と交差するように設けられた溝状切欠部によって、光導波路内を伝搬する光が転搬される。そして、溝状切欠部により転搬された受信光は受光素子により受光される一方、発光素子からは送信光が溝状切欠部に向けて発せられる。

【0017】

【発明の実施の形態】以下、本発明の実施の形態について図面を参照して詳細に説明する。

【0018】〔第1の実施の形態〕図1～図3は、本発明の一実施の形態に係る光送受信装置を双方向光伝送システムに適用した場合の構成の要部を表すものである。ここで、図3は、光送受信装置の要部の外観構成を表す斜視図であり、図1は図3におけるI-I矢視断面を表し、図2は図3におけるII-II矢視断面を表す。なお、本発明の実施の形態に係る光導波装置およびその製造方法は、本実施の形態に係る光送受信装置およびその製造方法によって具現化されるので、以下併せて説明する。

【0019】これらの図に示したように、本実施の形態の光送受信装置は、基板11と、基板11上に形成された光導波路15と、この光導波路15の両終端面18a、18bにそれぞれ対向して基板11上に配置された発光素子23a、23bと、光導波路15の両端部の各近傍における光導波路15の上面（側面）にそれぞれ配置された受光素子25a、25bとを備えている。基板11としては、通常、シリコンや石英あるいはガラス等の無機材料で構成されると共に、高精度に平坦化された光回路専用の基板が使用されるが、このほか、電気配線が施されていて比較的大きな凹凸を有する電気配線基板であってもよい。さらに、このような電気配線基板は、例えばセラミックス等の無機材料からなる基板であっても、あるいはガラス・エポキシ系の有機材料からなる基板であってもよい。ここで、光導波路15が本発明における「光導波路」に対応し、終端面18a、18bが本発明における「端面」に対応する。

【0020】光導波路15は、コア部13と、このコア部13の上下左右を囲むように形成されると共に、コア



13よりも小さな屈折率を有するクラッド部12, 14とを有している。コア部13は、後述するような高分子材料で形成され、クラッド部12, 14は、同様の高分子材料で形成されている。ここで、クラッド部12, 14が本発明における「クラッド部」に対応し、コア部13が本発明における「コア部」に対応する。

【0021】光導波路15の両終端面18a, 18bが基板11の表面となす角度 $\theta_3$ は、本実施の形態では、それぞれほぼ90度である。光導波路15の一方の送受信端部側（以下、A側という。）には、終端面18aと対向するようにして、基板11上に発光素子23aが配置され、他方の送受信端部側（以下、B側という。）には、端面18bと対向するようにして、基板11上に発光素子23bが配置されている。なお、図3ではA側のみを図示している。発光素子23aは、基板11上に形成された基体層21aと、この基体層21aの上に形成された発光層22aとを有している。同様に、発光素子23bは、基体層21bと発光層22bとを有している。これらの発光素子23a, 23bとしては、例えば端面発光型半導体レーザ等の端面発光型発光素子が使用可能である。この場合、発光素子23aの発光層22aの端面から出射した光は、終端面18aに対してほぼ垂直に入射し、発光素子23bの発光層22bの端面から出射した光は、終端面18bに対してほぼ垂直に入射するようになっている。

【0022】光導波路15には、そのA側およびB側に、それぞれ、光導波路15における光伝搬方向（光導波路15の長手方向）と交差するように設けられた溝状切欠部31aおよび31bが形成されている。より具体的には、溝状切欠部31aは、図1および図3に示したように、コア部13の上側のクラッド部14、コア部13、およびコア部13の下側のクラッド部12の3つの部分を、その順に斜めに横断するように形成されている。このように、溝状切欠部31aは、少なくともコア部13を横断していれば足り、クラッド部12, 14をも横断している必要はない。但し、溝状切欠部31aの長さ方向（図1において、紙面と直交する方向）のサイズを拡大して、溝状切欠部31aが、コア部13の上側のクラッド部14、コア部13およびコア部13の下側のクラッド部12の3つの部分のみならず、コア部13の両側のクラッド部12, 14をも横断するようになし、光導波路15が溝状切欠部31aによって完全に分断される形にしてもよい。なお、本実施の形態では、溝状切欠部31aが、光導波路15の外部媒質（例えば空気）で満たされているものとする。

【0023】溝状切欠部31aは、主として境界面16aと境界面17aとにより画成されている。境界面16aは基板11の表面と角度 $\theta_1$ をなし、境界面17aは基板11の表面と角度 $\theta_2$ をなしている。ここで、 $\theta_2 > \theta_1$ である。角度 $\theta_1$ は、図1の左手の方向（B側方

向）から光伝搬方向に沿って光導波路15中を伝搬してくる受信光をすべて第1の境界面16aで内面反射させて光導波路15の上面から外部に出射することができるような角度に設定されている。また、角度 $\theta_2$ は、終端面18aから入射して受信光の伝搬方向（図1の左手から右手に向かう方向）と相反する方向（図1の右手から左手に向かう方向）へ伝搬する送信光が第2の境界面17aを通過して第1の境界面16aへと入射することが可能な角度に設定されている。なお、これらの角度 $\theta_1$ ,  $\theta_2$ についてはさらに後述する。溝状切欠部31bの構造・形状は、溝状切欠部31aと同様であるので、説明を省略する。ここで、溝状切欠部31a, または31bが本発明における「溝状切欠部」に対応する。また、境界面16aが本発明における「第1の境界面」に対応し、境界面17aが本発明における「第2の境界面」に対応する。

【0024】光導波路15のA側およびB側の光導波路15上には、それぞれ、受光素子25aおよび25bが配置されている。受光素子25a, 25bとしては、例えばPin型フォトディテクタやMSM(Metal-Shotkey-Metal)型フォトディテクタ等の面受光型受光素子が使用可能である。

【0025】次に、図1を参照して、以上のような構成の光送受信装置の作用を説明する。ここでは、送受信端部の一方であるA側において送受信を行う場合の光学的原理を説明する。他方の送受信端部（B側）における送受信の原理は、これと同様であるので、その説明は省略する。

【0026】まず、送信の原理について説明する。発光素子23aの発光層22aの端面から基板11とほぼ平行に出射される送信光は、図1に示したように、光導波路15の終端面である終端面18aに入射する。ここで、終端面18aは、上記したように、光伝搬方向（光導波路15の長手方向）に対してほぼ垂直をなしている。このため、終端面18aに入射した送信光は、そのまま直進し、溝状切欠部31aにおける発光素子23a側の境界面17aに到達する。ここで、境界面17aは、光伝搬方向（基板11の表面方向に等しい）に対し、入射する送信光を全反射させることのない角度 $\theta_2$ をなすように形成されている。すなわち、角度 $\theta_2$ は、境界面17a面に入射する送信光の入射角が臨界角を超えないような角度である。より具体的には、角度 $\theta_2$ （単位：度）は、光導波路15のコア部13を構成する材料の屈折率 $n$ に依存し、スネルの法則により、次の（1）式を満たすように設定される。

【0027】

$$\theta_2 > 90 - \sin^{-1}(1/n) \cdots \cdots (1)$$

【0028】この（1）式を満たす限り、発光素子23aからの送信光は、境界面17aで全反射することなく、この境界面17aでスネルの法則に基づく屈折を

けて、これを透過する。例えば、コア部13の屈折率 $n$ が1.5であるとする、(1)式より、 $\theta_2 > 48.2^\circ$ となる。すなわち、この場合には、角度 $\theta_2$ が例えば $50^\circ$ 以上であれば、送信光は境界面17aを十分透過することができ、送信時における光転搬動作が確実に担保される。

【0029】境界面17aを通過した送信光は、溝状切欠部31aの内部を進んで、溝状切欠部31aの境界面16aに到達する。送信光は、この境界面16aにおいてスネルの法則による屈折を受けて光導波路15のコア部13内へと進入し、さらに、コア部13内をB側へと向かう。なお、送信光が境界面16aからコア部13の内部に進む際の進入方向は、光伝搬方向に対して若干の角度をなしているが、光導波路15が、この送信光に対して伝搬可能で許容できるような開口度(NA)を有していれば、送信光は十分なパワーで光導波路15内を伝搬することができる。ここで、光導波路15の開口度は、コア部13の屈折率 $n$ とクラッド部12、14の屈折率との差が大きいくほど、大きくなり、送信光の伝搬効率が高まる。

【0030】次に、受信の原理について説明する。上記したように、溝状切欠部31aの受光素子25aに近い側の境界面16aが光伝搬方向に対してなす角度 $\theta_1$ は、B側から光導波路を伝搬してきた光が境界面16aで全反射することとなるような角度になっている。すなわち、角度 $\theta_1$ は、第2の境界面に入射する受信光の入射角が臨界角以上になるような角度である。より具体的には、角度 $\theta_1$ (単位:度)は、光導波路15のコア部13を構成する材料の屈折率 $n$ に依存し、スネルの法則により、次の(2)式を満たすように設定される。

【0031】

$$\theta_1 < 90 - \sin^{-1}(1/n) \dots (2)$$

【0032】この(2)式を満たす限り、B側から光導波路15のコア部13の内部を伝搬してきた受信光は、境界面16aを透過することなく、この境界面16aで全反射し、光導波路15の上面に配置された受光素子25aによって受信される。例えば、光導波路15のコア部13の屈折率 $n$ が1.5であるとする、 $\theta_1 < 48.2$ 度となる。すなわち、この場合には、角度 $\theta_1$ が例えば $45^\circ$ 以下であれば、B側からの光は境界面16aで全反射して、受光素子25aに入射することとなり、受信時における光転搬動作が担保されると共に、その受光効率が最大となる。

【0033】例えば、コア部13の材料の屈折率 $n$ が1.5、 $\theta_1$ が $45^\circ$ 、 $\theta_2$ が $50^\circ$ であるとすれば、発光素子23aからの送信光が境界面17a、16aを通過して再び光導波路15の内部に入射する角度は、光伝搬方向に対して約4度の角度をなすことになり、通常のNA(例えば、NA=0.2~0.3程度)を有する光導波路であれば、十分に光結合が可能である。なお、

溝状切欠部31aの幅、すなわち、境界面16aと境界面17aとの間隔は、これらの2つの境界面のそれぞれが互いに光学的に影響を受けない程度であれば、できるだけ狭くしてよい。ここで、互いに光学的に影響を受けない幅とは、具体的には、光の波長オーダー(例えば、数 $\mu\text{m}$ )以上の幅である。この場合には、コア径が例えば数十~数百 $\mu\text{m}$ のマルチモード光導波路において十分な光結合が可能となる。一方、B側からの受信光は、境界面16aで全反射して、受光素子25aにより受信される。

【0034】以上のように、本実施の形態に係る光送受信装置によれば、光導波路15の一終端側の近傍における光導波路中に、光伝搬方向と交差するようにして、境界面16a、17aを有する溝状切欠部31aを設け、B側から光導波路15中を伝搬してきた受信光を境界面16aで内面反射させて光導波路15の上面から外部に出射させるようにすると共に、光導波路15のA側の終端面18aから入射した送信光が境界面17aを透過して境界面16aに入射するようになしたので、基板上に形成された単一の光導波路において、比較的単純な構成により双方向の光信号の転搬を行うことができる。したがって、双方向光送受信システムにおいて、低密度の光配線によって高密度の光伝達を達成できる。

【0035】次に、図4ないし図9を参照して、本実施の形態に係る光送受信装置の製造方法について説明する。

【0036】まず、図4~図6に示したような工程により、基板11上に、コア部13およびクラッド部12、14を含む光導波路15を形成する。なお、図4~図6は、光伝搬方向と直交する方向に沿った断面を表すものである。

【0037】具体的には、図4に示したように、シリコン基板やガラス基板等の平坦な基板11上に、例えばスピコート法によって、有機材料からなる厚さ数十 $\mu\text{m}$ 程度の下部クラッド層12'を形成し、さらに、熱処理または紫外線照射等によりこれを硬化させる。下部クラッド層12'としては、例えば、ポリイミド、PMMA(Poly Methyl Meta-Acrylate)等のアクリル系樹脂、ビスフェノール等を主剤とするエポキシ系樹脂、ポリエチレンやポリスチレン等のポリオレフィン系樹脂、あるいはこれらの物質に弗素を添加したものを用いることができる。

【0038】次に、下部クラッド層12'の上に、下部クラッド層12'よりも屈折率の高い厚さ数十 $\mu\text{m}$ 程度のコア層13'をスピコート工程および熱処理工程等によって形成する。コア層13'としては、例えば、上に列挙した材料(ポリイミド、PMMA等のアクリル系樹脂、ビスフェノール等を主剤とするエポキシ系樹脂、ポリエチレンやポリスチレン等のポリオレフィン系樹脂、あるいはこれらの物質に弗素を添加したもの)の中



から、下部クラッド層12'として選択した材料の屈折率よりも十分高い屈折率を有する材料を選択する。

【0039】次に、図5に示したように、フォトリソグラフィ工程および反応性イオンエッチング(RIE)工程等によってコア層13'をパターニングし、矩形状断面を有するコア部13を形成する。この場合のコア部13の幅は、例えば30μm程度とする。

【0040】次に、図6および図7に示したように、スピコート工程および熱処理工程等により、下部クラッド部層12'と同じ材料からなる上部クラッド層を全体に厚さ数μm程度に形成したのち、この上部クラッド層および下部クラッド層12'を選択的にエッチングして、各光導波路の間を相互に分離する。これにより、基板11上に、クラッド部12、14によって囲まれたコア部13を有する分離型の光導波路15が複数形成される。なお、図7は、図6の状態における光導波路15のVII-VII矢視図を表す。

【0041】次に、図8に示したように、溝状切欠部31a、31bおよび終端面18a、18bを形成し、さらに、図9に示したように、発光素子23aおよび受光素子25aを形成する。ここで、図8および図9は、図7と同じ方向の断面、すなわち光導波路15の光伝搬方向に沿った断面を表す。

【0042】溝状切欠部31a、31bの形成は、例えばエキシマレーザ等の高出力の光ビームを利用したレーザ加工、イオンビームエッチング、あるいはパウダービームエッチング等の各種エッチング加工工程により行う。ここで、パウダービームエッチングは、微粒粉体からなるビームによってエッチングを行うものである。これらの加工は、例えば、光導波路15の上方から、必要に応じてマスクを使用して行う。このとき、溝状切欠部31aの境界面16a、17aの、光伝搬方向に対する角度θ1およびθ2が、上記の(1)、(2)式を満たすこととなるように、ビームの径、方向、強度および拡散度等を制御する。溝状切欠部31bの境界面16b、17bの角度θ1、θ2についても同様に制御する。

【0043】終端面18aおよび18bもまた、上記と同様に、レーザ加工、イオンビームエッチング、あるいはパウダービームエッチング等の各種エッチング加工工程により形成可能である。この場合、溝状切欠部31a、31bの加工と終端面18a、18bの加工とを同時に行ってもよいし、異なる工程で形成するようにしてもよい。

【0044】次に、図9に示したように、予め製作された端面発光型の発光素子23a、23bを、光導波路15の終端面18a、18bの各近傍の基板11上に、各光出射面を終端面18a、18bとそれぞれ対向させるようにして配置し、これらを接着剤等によって基板11に固定する。さらに、光導波路15の上面における、境界面16a、16bの形成位置に対応した位置に、それ

ぞれ、予め製作された面受光型の受光素子25a、25bを受光面を下に向けて配置し、これらを接着剤等によって光導波路15上に固定する。

【0045】その後、発光素子23a、23bおよび受光素子25a、25bを、例えばワイヤボンディング等によって、図示しない電子回路に接続する。これにより、本実施の形態に係る光送受信装置の主要部の製造が完了する。

【0046】以上のように、本実施の形態に係る光送受信装置の製造方法によれば、光導波路15を形成したのちに、その上方からレーザ加工等の指向性をもったエッチング工程により溝状切欠部31aを形成して、送受信光を転轍(てんてつ)するための境界面16a、17aを形成するようにしたので、多数の工程を要せず、比較的少ない簡単な工程によって、双方向の光伝送が可能な光送受信装置を形成することができる。

【0047】【第2の実施の形態】次に本発明の第2の実施の形態について説明する。

【0048】図10は、本発明の第2の実施の形態に係る光送受信装置の断面構造を表すもので、上記第1の実施の形態における図1に対応するものである。なお、この図で、上記の図1で示した構成要素と同一の構成要素には同一の符号を付し、適宜説明を省略する。

【0049】本実施の形態では、発光素子として、端面発光型に代えて面発光型の発光素子122a、122bを用いるようにしたものである。発光素子122a、122bとしては、例えばVCSEL(VERTICAL Cavity Surface Emission Laser)等の発光素子が使用可能である。

【0050】本実施の形態では、発光素子122a、122bは、上記第1の実施の形態の場合のように基板11上に配置するのではなく、光導波路115の両端部近傍における光導波路115上に、光出射面を下向きにして配置する。また、光導波路115の終端面118aが光伝搬方向に対してなす角度θ3は、上記第1の実施の形態の場合とは異なり、発光素子122aから下向きに射出されて入射してきた送信光が終端面118aで全反射することとなるような角度とする。具体的には、スネルの法則により、次の(3)式を満たす角度とする。

【0051】 $\theta 3 > \sin^{-1}(1/n) \dots\dots (3)$

【0052】本実施の形態では、発光素子122aから下向きに射出されて光導波路115内に入射してきた送信光は、終端面118aで全反射して光導波路115内をその長手方向に進み、境界面17aを通過して溝状切欠部31a内部に進む。その後の送信光の伝搬過程、およびB側からの受信光の受信過程は、上記第1の実施の形態の場合と同様であり、説明を省略する。

【0053】以上のように、本実施の形態に係る光送受信装置によれば、受光素子のみならず発光素子についても面発光型素子を使用して、双方向の光送受信が可能と

なる。

【0054】以上、いくつかの実施の形態を挙げて本発明を説明したが、本発明はこれらの実施の形態に限定されず、種々の変形が可能である。例えば、上記の各実施の形態では、光導波路15、115は、互いが分離された形態のものであるとして説明したが、例えば図11に示したように、光導波路の相互間が分離されていない形態のものであってもよい。なお、図11は、光導波路における光伝搬方向と直交する方向に沿った断面を表すもので、上記実施の形態における図6に対応する。この図に示した変形例では、コア部13は、クラッド層12および34からなるクラッド部の中に完全に埋め込まれた形となっている。光導波路の端部近傍に、上方から順にクラッド層34、コア部13およびクラッド層12を貫くようにして溝状切欠部（図示せず）が形成されている点は、上記の各実施の形態の場合と同様である。

【0055】また、上記各実施の形態では、光導波路の送受信端部A側およびB側にそれぞれ溝状切欠部31a、31bが形成されているものとして説明したが、いずれか一方にのみ本発明の実施の形態に係る溝状切欠部31aを形成し、他方側には、他の構成の送受信機構を形成するようにしてもよい。

【0056】また、上記各本実施の形態では、溝状切欠部31aの内部は外部雰囲気媒質（空気等）によって満たされているものとして説明したが、本発明はこれに限定されず、コア部13の屈折率よりも小さい屈折率をもつものであれば、他の媒質で溝状切欠部31aが満たされているようにしてもよい。この場合、他の媒質として、例えば不活性な媒質を用いるようにすれば、境界面16a、17aおよび境界面16b、17bにおける反射性能や透過性能の経時変化を防止することも可能である。

【0057】

【発明の効果】以上説明したように、請求項1ないし請求項10のいずれかに記載の光導波装置、請求項11ないし請求項23のいずれかに記載の光送受信装置、請求項24ないし請求項28のいずれかに記載の光導波装置の製造方法、または請求項29ないし請求項33のいずれかに記載の光送受信装置の製造方法によれば、基板上に形成されると共に光を双方向に伝搬可能な光導波路の少なくとも一終端の近傍における光導波路内に、この光導波路内を伝搬する光を転搬することが可能な溝状切欠部を、光伝搬方向と交差させて設けるようにしたので、光導波路内を伝搬する光を、その伝搬方向に応じて異なる経路へと導くことができる。したがって、単一の光導波路を用いて双方向の光信号送受信が可能となり、光導波路を使用した光伝送の高密度化を容易に達成できるという効果を奏する。

【0058】特に、請求項4ないし8のいずれかに記載の光導波装置、請求項14ないし23のいずれかに記載

の光送受信装置、請求項24ないし28のいずれかに記載の光導波装置の製造方法、または請求項29ないし33のいずれかに記載の光送受信装置の製造方法によれば、溝状切欠部が所定の機能を有する第1の境界面と第2の境界面とを有するようにしたので、比較的簡単な構造で、光導波路内を伝搬してきた受信光を光導波路外に導くと同時に、受信光と逆方向に向かう送信光を光導波路内に導くことができるという効果を奏する。

【0059】さらに、請求項5記載の光導波装置、請求項15記載の光送受信装置、請求項25記載の光導波装置の製造方法、または請求項30記載の光送受信装置の製造方法によれば、第1の境界面が光伝搬方向に対してなす角度 $\theta_1$ を、その面に入射する受信光の入射角が臨界角以上になるようにすると共に、第2の境界面が光伝搬方向に対してなす角度 $\theta_2$ を、その面に入射する送信光の入射角が臨界角を超えないようにしたので、光転搬動作が効率よくかつ確実に行われるという効果を奏する。

【0060】また、請求項6記載の光導波装置、請求項17記載の光送受信装置、請求項26記載の光導波装置の製造方法、または請求項31記載の光送受信装置の製造方法によれば、光導波路の少なくとも一終端が、光伝搬方向とほぼ直交すると共に外部から入射した送信光をほぼそのままの方向に通過させることが可能である端面をなすようにしたので、送信光の光源を、光導波路の光伝搬方向（長手方向）に配置することが可能になるという効果を奏する。

【0061】また、請求項7もしくは8記載の光導波装置、請求項20ないし23のいずれかに記載の光送受信装置、請求項27もしくは28記載の光導波装置の製造方法、または請求項32もしくは33記載の光送受信装置の製造方法によれば、光導波路の少なくとも一終端が、光伝搬方向に対してこれと交差するような所定の角度をなすと共に光導波路の上面または側面から入射した送信光を内面で反射させることが可能である端面をなすようにしたので、送信光の光源を、光導波路の上面または側面に配置することが可能になるという効果を奏する。

【0062】特に、請求項8記載の光導波装置、請求項23記載の光送受信装置、請求項28記載の光導波装置の製造方法、または請求項33記載の光送受信装置の製造方法によれば、光導波路の上面または側面から端面に入射する送信光の入射角が臨界角以上となるようにしたので、その端面における内面反射は全反射となり、送信効率を高めることができるという効果を奏する。

【0063】また、請求項24ないし28のいずれかに記載の光導波装置の製造方法、または請求項29ないし33のいずれかに記載の光送受信装置の製造方法によれば、基板上に、光を双方向に伝搬可能な光導波路を形成し、この光導波路の少なくとも一終端の近傍における光

10

20

30

40

50

導波路内に、この光導波路内を伝搬してきた受信光を内面で反射させて光導波路の側面から外部に出射させることが可能な第1の境界面および前記受信光の伝搬方向と相反する方向に向かう送信光を通過させて前記第1の境界面を介して光導波路内に導くことが可能な第2の境界面を有する溝状切欠部を、光伝搬方向と交差するように形成するようにしたので、多数の工程を要せず、比較的少ない簡単な工程によって、双方向の光伝送が可能な光導波装置または光送受信装置を製造することができるという効果を奏する。

【図面の簡単な説明】

【図1】本発明の一実施の形態に係る光送受信装置における、光伝搬方向に沿った断面構造を表す断面図である。

【図2】本発明の一実施の形態に係る光送受信装置における、光伝搬方向と直交する方向に沿った断面構造を表す断面図である。

【図3】本発明の一実施の形態に係る光送受信装置の外観構成を表す斜視図である。

【図4】本発明の一実施の形態に係る光送受信装置の製造方法における一工程を表す断面図である。

【図5】図4に続く工程を表す断面図である。

【図6】図5に続く工程を表す断面図である。

【図7】図6に示した工程における光導波路の他の断面構造を表す断面図である。

【図8】図7に続く工程を表す断面図である。

【図9】図8に続く工程を表す断面図である。

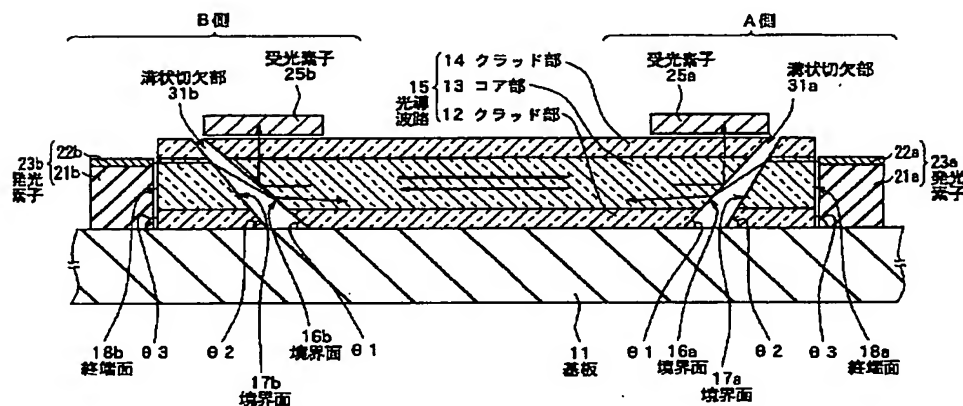
【図10】本発明の第2の実施の形態に係る光送受信装置における、光伝搬方向に沿った断面構造を表す断面図である。

【図11】本発明の実施の形態の変形例に係る光送受信装置における、光伝搬方向と直交する方向に沿った断面構造を表す断面図である。

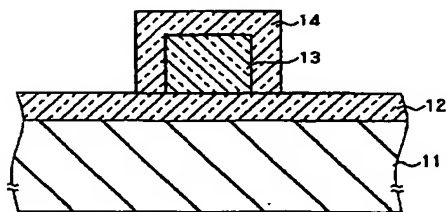
【符号の説明】

10…光送受信装置、11…基板、12, 112…クラッド部、12'…下部クラッド層、13, 113…コア部、13'…コア層、14, 114…クラッド部、14'…上部クラッド層、15, 115…光導波路、16a, 16b…(第1の)境界面、17a, 17b…(第2の)境界面、18a, 18b, 118a, 118b…終端面、23a, 23b, 123a, 123b…発光素子、25a, 25b…受光素子、31a, 31b…溝状切欠部、34…クラッド層

【図1】



【図2】



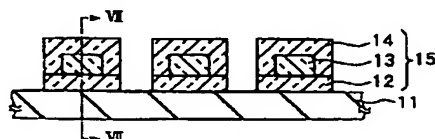
【図4】



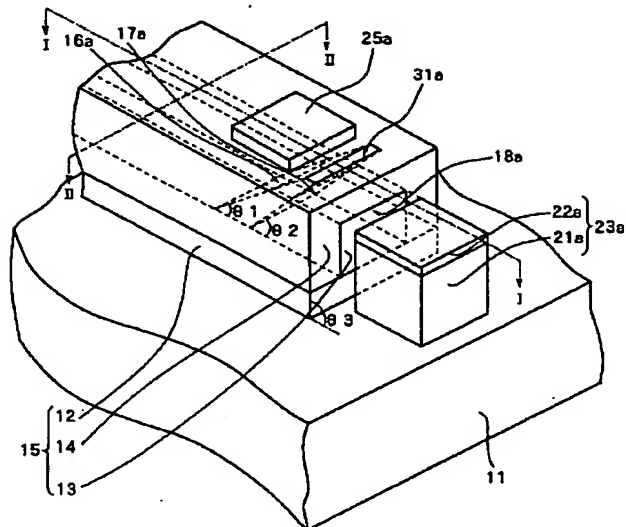
【図5】



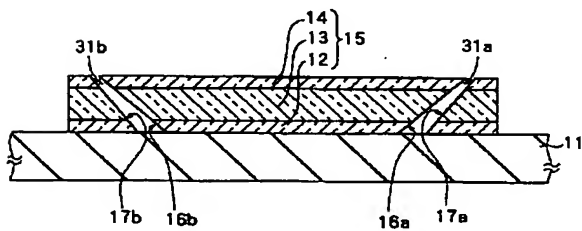
【図6】



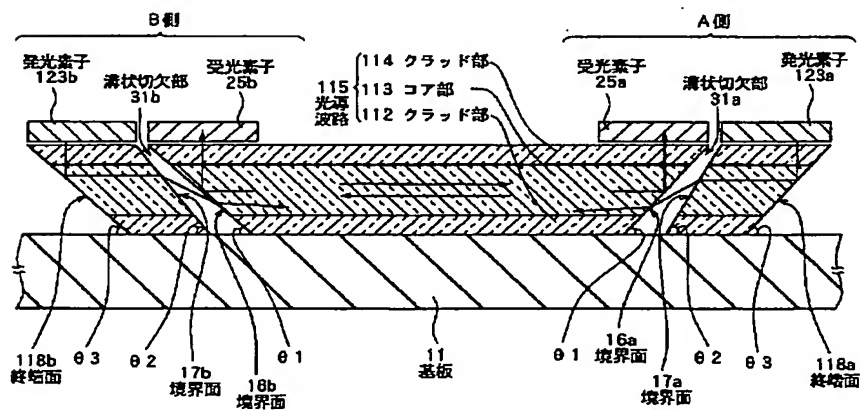
【図3】



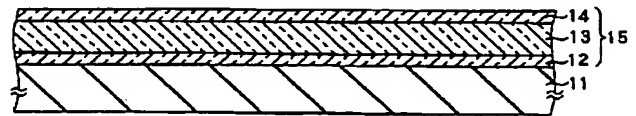
【図8】



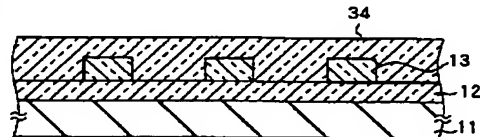
【図10】



【図7】



【図11】



【図9】

